4А

УДК 004.93

А.М. Ахметшин, А.А. Степаненко
Днепропетровский национальный университет, г. Днепропетровск, Украина
Национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

Автокорреляционная функция преобразования Радона как инвариантная к влиянию поворота характеристика изображения текстуры

Рассмотрены информационные возможности нового метода выделения информативных характеристик текстур, инвариантного к влиянию поворота изображения. Суть метода базируется на двукратном использовании автокорреляционной функции как для выделения топологических особенностей изображения, так и обеспечения угловой инвариантности путем вычисления автокорреляционной функции преобразования Радона от автокорреляционной функции исходного изображения. Представлены результаты реальной проверки работоспособности метода на примерах различных типов текстур.

Введение

Актуальность решения задачи классификации текстурных изображений привела к появлению большого числа работ, связанных с поиском различных типов преобразований, в целях обеспечения инвариантности характеристик изображений текстур к влиянию поворота. В работе [1] все методы классификации текстур были разделены на четыре типа: статистические; структурные, модельные и методы обработки сигналов.

Весьма популярным является подход, базирующийся на использовании статистических характеристик второго порядка изображений текстур, к каковым относятся автокорреляционная функция (АКФ) и энергетический Фурье-спектр. Распространено мнение [2], что, например, по АКФ невозможно восстановить исходное изображение, поскольку теряется фазовая информация. Однако в [3] было показано, что во многих случаях возможно восстановление исходного изображения по его энергетическому спектру или АКФ. Условие однозначного восстановления исходного изображения $I(x, y)$ по, например, его АКФ возможно в том случае, если исходное изображение нельзя факторизировать [4], т.е. нельзя представить в виде

$$I(x, y) = I_1(x) I_2(y). \tag{1}$$

Поскольку реальные природные текстуры рассматриваются в виде реализации случайных (квазислучайных) полей, то представление их изображений в виде (1) практически не осуществимо, а это означает, что по энергетическому спектру или АКФ текстуры можно однозначно восстановить изображение самой текстуры. Примеры такого восстановления приведены в [5]. Последнее обстоятельство с теоретической точки зрения значительно усиливает роль корреляционно-спектральных методов анализа текстур.

К сожалению, АКФ изображения текстуры не является инвариантной к влиянию поворота изображения. Известные подходы базируются либо на на использовании пре-

образование Фурье-Меллина [5], [6] либо разложении АКФ текстуры по полиномам Цернике [7]. Однако первый подход – обладает низкой чувствительностью, а второй – требует предварительной бинаризации изображения АКФ.

Цель работы – демонстрация информационных возможностей нового метода выделения информативных характеристик изображений текстур, обладающих достаточной чувствительностью к вариациям типов изображений текстур и инвариантностью к влиянию поворота изображения.

Преобразование Радона текстурных изображений

Преобразование Радона позволяет осуществить переход из декартовой системы распределения яркостей анализируемого изображения $I(x,y)$ в полярную плоскость углового распределения яркостей на основе использования выражения

$$R(U,\theta)=\iint I(x,y)e^{-j2\pi(x\cos(\theta)+y\sin(\theta))U}\,dxdy;\ 0\le\theta\le\pi\,, \qquad (2)$$

где θ – угловая ось; U – ось проекций изображения.

Логический смысл использования подобного преобразования для анализа изображений текстур заключается в том обстоятельстве, что если у нас имеется портрет изображения текстуры $R(U,\theta)$ в полярной системе координат U и θ, то в этом портрете должна быть заложена информация о текстуре при любом угле ее ориентации, что и открывает принципиальную возможность получения характеристик, инвариантных к влиянию поворота.

На рис. 1а представлены изображения текстуры для трех углов ориентации. На рис. 1б представлены соответствующие этим изображениям преобразования Радона. Из рассмотрения рис. 1б видно, что влияние углового поворота изображения трансформируется в линейный сдвиг преобразования Радона вдоль угловой координаты θ (показано стрелками).

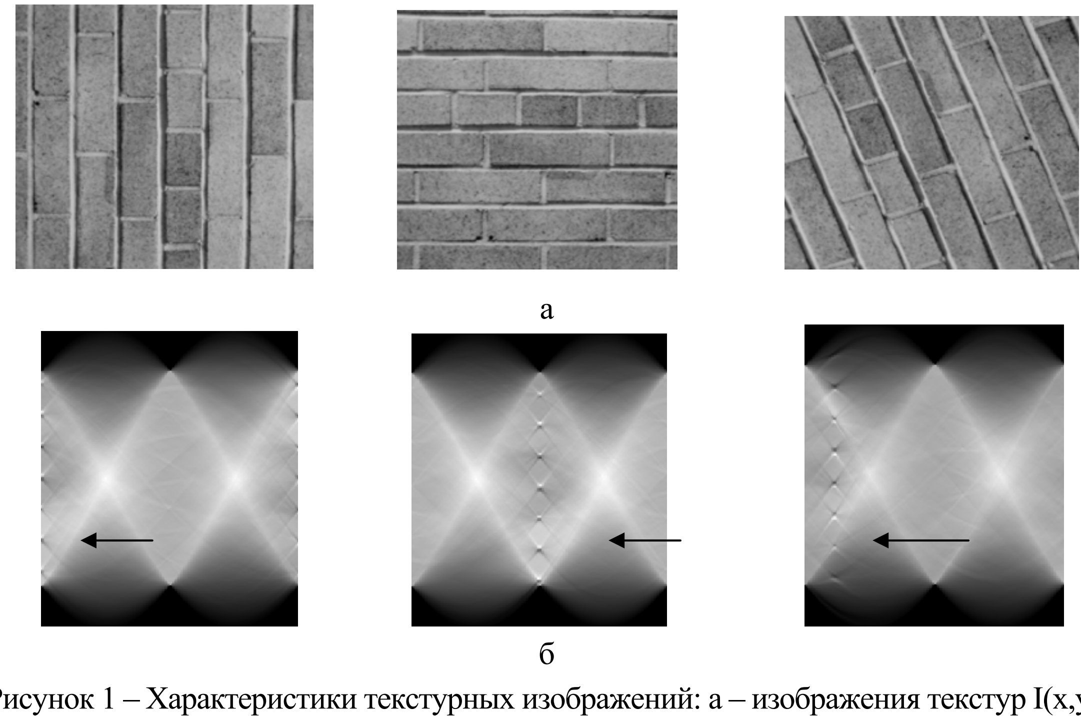


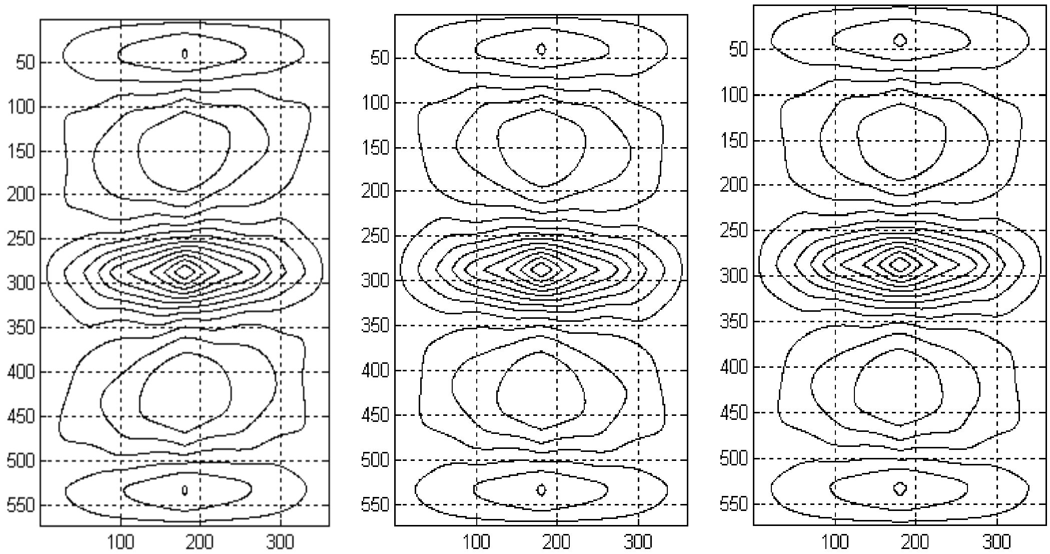
Рисунок 1 – Характеристики текстурных изображений: а – изображения текстур I(x,y); б – преобразование Радона исходных изображений $R(U,\theta)$

Как хорошо известно, инвариантностью к влиянию линейных сдвигов обладает модуль энергетического спектра двумерного преобразования Фурье либо АКФ функции $R(U,\theta)$. С практической точки зрения при анализе «мелкозернистых» текстур предпочтительнее использование АКФ преобразования Радона

$$C(\alpha,\beta)=\frac{\sum_{\alpha=0}^{M}\sum_{\beta=0}^{N}R(U,\theta)R(U+\alpha,\theta+\beta)}{\sum_{\alpha=0}^{M}\sum_{\beta=0}^{N}R^{2}(U,\theta)}, \qquad (3)$$

где (MxN) – размерность функции $R(U,\theta)$.

На рис. 2 представлены контурные изображения АКФ $C(\alpha,\beta)$ от $R(U,\theta)$ на рис. 1б.



0^0 90^0 125^0

Рисунок 2 – Контурные графики АКФ $C(\alpha,\beta)$ от изображений преобразования Радона

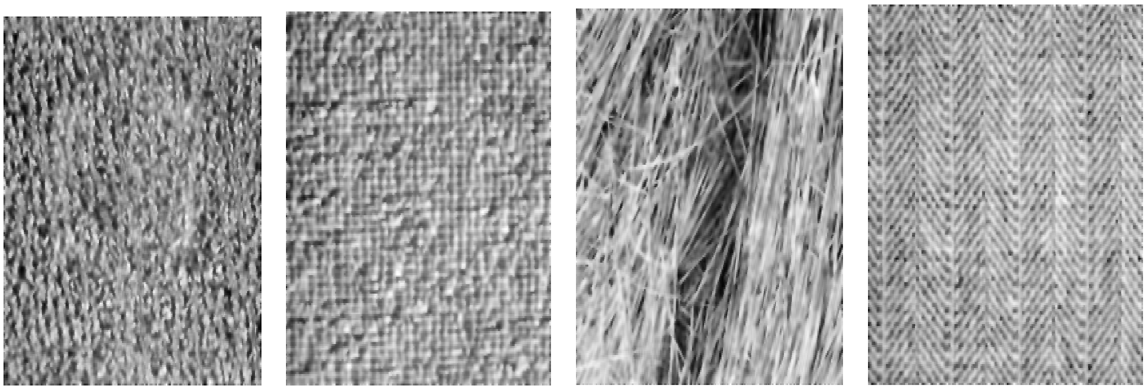
Анализ рис. 2 свидетельствует о том, что АКФ преобразования Радона обеспечивает инвариантность к влиянию угловых поворотов анализируемых изображений текстур.

Повышение чувствительности анализа

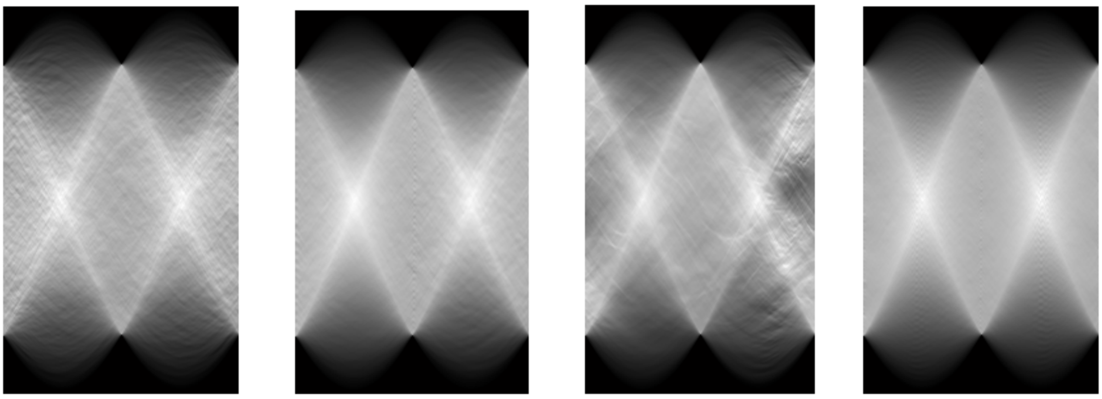
Одна из сложных проблем, связанных с анализом текстур, связана с тем обстоятельством, что различные текстуры могут иметь очень похожие характеристики и, следовательно, слабо различимые изображения преобразований Радона.

На рис. 3 представлены изображения четырех различных текстур и соответствующих им преобразований Радона из рассмотрения которых видно, что преобразования Радона для первой, второй и четвертой текстур очень похожи.

В этой связи возникает необходимость повышения чувствительности анализа с одновременным обеспечением стабильности результатов к небольшим статистическим вариациям как исходных изображений, так и их характеристик.



а



б

Рисунок 3 – Изображения четырех типов «мелкозернистых» текстур (а)
и соответствующих им преобразований Радона (б)

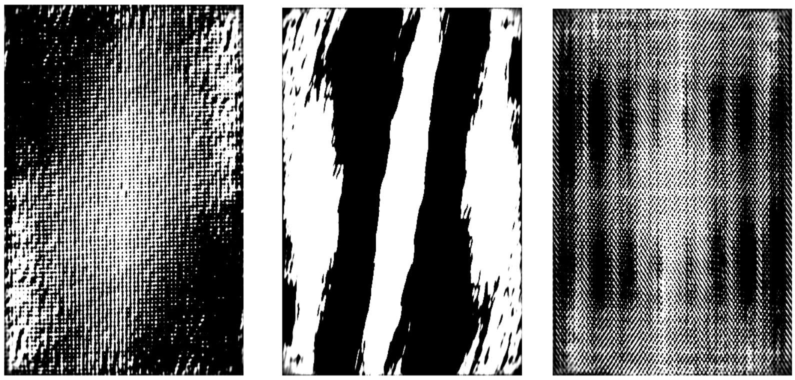
Первый вопрос – целесообразно использовать преобразование Радона от исходного изображения или какой-либо его характеристики? По нашему мнению, при анализе «мелкозернистых» текстур целесообразно работать с АКФ изображений текстур, а не с самими исходными изображениями. Для этого есть две причины:

1. АКФ мелкозернистых текстур локально сгруппированы в окрестности центральной точки изображения и лучше выделяют характерные особенности топологии исходных изображений.

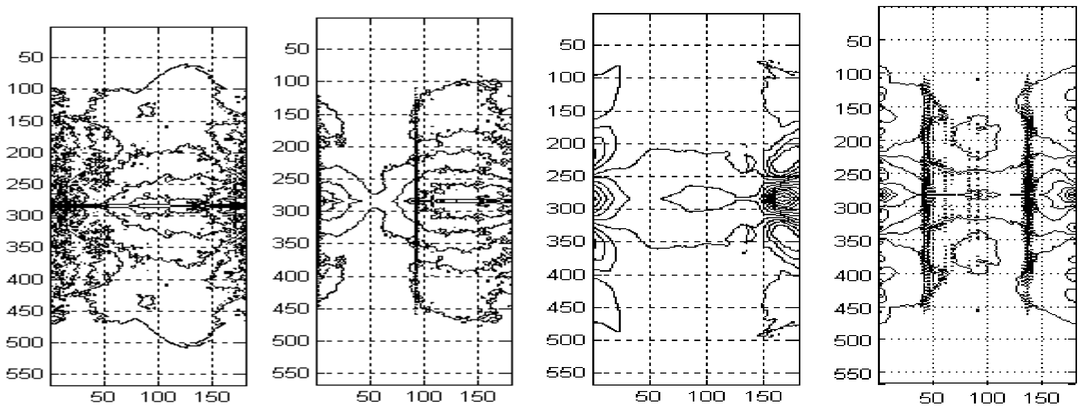
2. АКФ является мощным средством выделения характерных особенностей на фоне структурных шумов изображения самой текстуры (рис. 4).

Из визуального анализа изображений преобразований Радона от АКФ исходных текстур следует, что их различимость увеличилась, по сравнению с изображениями преобразований Радона на рис. 3б, что открывает принципиальную возможность повышения чувствительности анализа.

Поскольку АКФ не обладает инвариантностью к влиянию поворота изображения текстуры, то, как и выше, необходимо вычислять АКФ от преобразования Радона АКФ исходной текстуры.



а



б

Рисунок 4 – Бинаризированные АКФ изображений текстур (а), представленных на рис. 3а, и соответствующие им контурные изображения преобразования Радона (б)

На рис. 5 представлены изображения АКФ от преобразований Радона на рис. 4б.

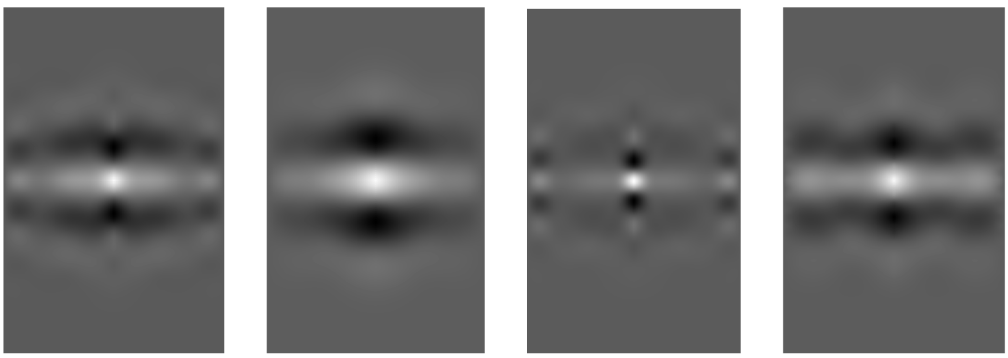


Рисунок 5 – АКФ от изображений преобразования Радона на рис. 4б

Из рассмотрения рис. 5 видно, что первое и третье, а также второе и четвертое изображения похожи.

Если представить результаты на рис. 5 в виде операторного уравнения

$$G(x, y) = C_2\{R\{C_1\{I(x, y)\}\}\}, \tag{4}$$

где C_1 – вычисление АКФ исходного изображения $I(x, y)$, R – оператор преобразования Радона, C_2 – оператор вычисления АКФ второго порядка, то дальнейшее повышение чувствительности анализа возможно на базе использования метода самоорганизующегося модуляционного преобразования вида [8]

$$Q(x, y) = \exp(j \times \pi / (H(G(x, y) + \gamma))), \quad (5)$$

где H – оператор эквализации гистограммы синтезированного изображения $G(x, y)$, γ – стабилизирующий коэффициент $\approx 0{,}001$. Визуализируются фазовые характеристики выражения (5) (рис. 6).

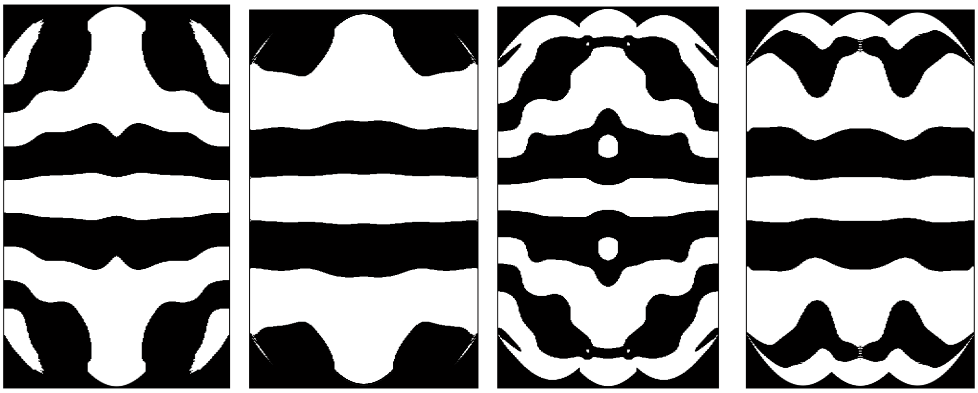


Рисунок 6 – Фазовые характеристики метода модуляционного преобразования применительно к данным на рис. 5

Сопоставление рис. 5 и рис. 6 свидетельствует о том, что применение фазовых характеристик метода самоорганизующегося модуляционного преобразования позволяет повысить чувствительность анализа и, следовательно, процедуры классификации.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Использование автокорреляционных функций преобразования Радона изображений текстур позволяет обеспечить инвариантность к влиянию поворота изображения текстуры.

2. В целях обеспечения устойчивости вычисления информационных характеристик к влиянию структурных шумовых компонент текстурных изображений целесообразно использование трехступенчатого подхода:

– вычисление автокорреляционной функции исходного изображения;

– вычисление преобразование Радона от «первичной» автокорреляционной функции;

– вычисление вторичной автокорреляционной функции от самого результата преобразования Радона.

3. Повышение чувствительности анализа возможно на базе использования метода самоорганизующегося модуляционного преобразования с вычислением фазо-пространственных характеристик «вторичной» автокорреляционной функции.

Литература

1. Tomita F. Computer analysis of visual textures./ F. Tomita, S. Tsuji. – Boston : Kluwer Academic Publisher, 1990. – 398 p.
2. Tuceryan M. Texture analysis / M Tuceryan., A.K. Jain // In HANDBOOK of Pattern Recognition & Computer Vision. / Ed. Chen C.H., Pau L.F., Wang P.S. – 2nd Edition. – London : World Scientific. – 1999. – P. 207-248.
3. Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений / Р. Бейтс, М. Мак-Донел. – М. : Мир, 1989. – 277 p.
4. Хейс М.Х. Приводимые многочлены от двух переменных / М.Х. Хейс, Д.Х. Макклеллан // М. : Мир, ТИИЭР. – 1982. - № 2. – С. 99-100.
5. Ахметшин А.М. Нейросетевая классификация текстурных изображений на основе инвариантных дескрипторов преобразования Фурье-Меллина / А.М. Ахметшин, А.А. Киргизов : сб. научных трудов Национального горного университета. - Днепропетровск. – 2002. – № 14. – С. 170-177.
6. Zhang J. Brief review of invariant texture analysis method / J. Zhang, T. Tan // Pattern Recognition. – 2002. – Vol. 35. – P. 735-747.
7. Довженко О.В. Инвариантное распознавание текстурных изображений в пространстве моментов Цернике на основе метода амплитудно-частотной демодуляции / О.В. Довженко, А.М. Ахметшин // Вестник ХГТУ. – 2004. – № 3 (19). – С. 123-127.
8. Ахметшин А.М. Самоорганизующийся интерференционный метод сегментации слабоконтрастных изображений / А.М. Ахметшин, Л.Г. Ахметшина, И.М. Удовик // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3 – С. 427-431.

Literatura

1. Tomita F. Computer analysis of visual textures. Boston: Kluwer Academic Publisher. 1990. 398 p.
2. Tuceryan M. HANDBOOK of Pattern Recognition & Computer Vision. London: World Scientific. 1999. P.207-248.
3. Bejts R. Vosstanovlenie i rekonstrukcija izobrazhenij. M.: Mir. 1989. 277 p.
4. Hejs M.H. Privodimy emnogochleny ot dvuh peremennyh. M.: Mir. TIIJeR. № 2. 1982. S. 99-100.
5. Ahmetshin A.M. Sb. Nauchnyh trudov Nacional'nogo gornogo universiteta. Dn-sk. № 14. 2002. S. 170-177.
6. Zhang J. Brief review of invariant texture analysis method. Vol 35. 2002. P 735-747
7. Dovzhenko O.V. Vestnik HGTU. №3(19). 2004. S 123-127
8. Ahmetshin A.M. Iskusstvennyj intellekt. №3. 2010. S 427-431

О.М. Ахметшин, О.О. Степаненко

Автокореляційна функція перетворення Радона як інваріантна до впливу повороту характеристика зображень текстур

Розглянуто інформаційні можливості нового методу виділення інформаційних характеристик текстур, інваріантних до впливу повороту зображення. Суть методу базується на двократному використанні автокореляційної функції як для виділення топологічних особливостей зображення, так і забезпечення кутової інваріантності шляхом обчислювання автокореляційної функції перетворення Радона. Представлені результати реальної перевірки працездатності методу.

A.M. Akhmetshyn, A.A. Stepanenko

Autocorrelation Function of Radon Transformation as Invariant for Rotation Influence Characteristic of Texture Image

Information possibilities of a new method for discrimination of invariant for influence rotation information characteristics of texturesare analyzed. The main idea of the method is based on double using of autocorrelation function for image topological features discrimination and for edge invariant supporting by means of calculation of autocorrelation function of Radon transformation. The results of method validation are presented by the examples of textures of different types.

Статья поступила в редакцию 14.07.2011.